



Implementación de una herramienta informática de agricultura específica por sitio (AEPS)  
para el cálculo balance hídrico priorizado en el cultivo de caña de azúcar.

Edwin Fabian Mesias Restrepo

Trabajo de grado para optar como Agrónomo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Palmira, Colombia

2019



Implementación de una herramienta informática de agricultura específica por sitio (AEPS)  
para el cálculo balance hídrico priorizado en el cultivo de caña de azúcar

Edwin Fabian Mesias Restrepo

Trabajo de grado para optar como Agrónomo

Director:

Milton Cesar Ararat

Ingeniero Agrónomo *Ph. D*

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Palmira, Colombia

2019

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, quien ha forjado en mí una persona responsable, humilde y trabajadora con ganas de salir adelante a pesar de las adversidades y dificultades en mi recorrido académico y profesional.

A mis padres, Luciene Restrepo y Hermogenes Mesias que siempre han inculcado en mí la importancia de la formación como profesional para obtener los frutos de todo el sacrificio que se hizo durante este proceso de formación.

A mi Esposa, por brindarme su apoyo incondicional, motivación y positivismo para no desfallecer ante cualquier situación.

A Mi hija Ivana, que es el motivo más grande para obtener este título que con seguridad abrirá muchas oportunidades en mi vida.

Al Doctor Milton Cesar Ararat, por su dedicación y compromiso, ya que con su amplia experiencia contribuyó significativamente en el planteamiento, desarrollo, ejecución y corrección de cada una de las actividades propuestas en este trabajo.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, a todo su plantel académico y administrativo que ha fomentado en mí la importancia del aprendizaje autónomo y el deseo de superación personal, académico y profesional

Al equipo de Proveeduría de Caña del Ingenio del Cauca, especialmente a la ingeniera Ginna Rosero, promotora de mi experiencia en el área del recurso hídrico en el cultivo de la caña de azúcar.

## **Implementación de una herramienta informática de agricultura específica por sitio (AEPS) para el cálculo balance hídrico priorizado en el cultivo de caña de azúcar**

### **RESUMEN**

La disponibilidad de agua para riego disminuye significativamente día tras día y la programación de los riegos es de vital importancia para garantizar el buen desarrollo del cultivo y la productividad del mismo. Actualmente la programación de los riegos en la finca Formosa se realiza una manera empírica, pues no se tiene en cuenta la relación que existe entre el tipo de suelo, la humedad y los requerimientos hídricos del cultivo. Por esta razón se tomo la decisión de implementar el método de balance hídrico versión 4 diseñado por CENICAÑA en la finca Formosa bajo condiciones edafoclimáticas previamente identificadas y poder determinar las frecuencias de riego para el cultivo logrando programar los riegos de una manera técnica y oportuna. El balance hídrico consiste en llevar una contabilidad del agua en el suelo que permite identificar las ganancias y pérdidas de humedad en el suelo. Los suelos aumentan su contenido de humedad cuando ocurre una precipitación o cuando se realiza la aplicación de un riego y las pérdidas de humedad en el suelo se deben básicamente a la evaporación desde la superficie del suelo y a la transpiración de la planta. A través del balance hídrico se conocerá en forma aproximada el agua aprovechable en el suelo para cada una de las suertes o lotes de caña, establecer prioridades de riego por tipo de cultivo según su edad y la clase de suelo, y programar los riegos con varios días de anticipación. Este proyecto hace parte de las actividades del semillero de investigación en producción agropecuaria sostenible SIPAS perteneciente al grupo de investigación "Producción Sostenible" de la Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA.

### **SUMMARY**

The availability of water for irrigation varies day after day and the programming of the irrigation is of vital importance for the good development of the crop and its productivity. Currently, irrigation programming in the Formosa farm is carried out in an empirical way, since the relationship between the type of soil, the humidity and the water requirements of the crop is not taken into account. For this reason the decision is made to implement the water balance method version 4 designed by CENICAÑA in the Formosa farm under previously identified soil-climatic conditions and to determine the irrigation frequencies for the crop, managing to program the irrigation in a technical and timely manner. The water balance consists of keeping an account of the water in the soil that allows to identify the gains and losses of moisture in the soil. Soils increase their moisture content when a fault occurs or when irrigation is applied and moisture losses in the soil must be affected by evaporation from the soil surface and the perspiration of the plant. Through the water balance, the usable water in the soil for each of the lots or cane lots will be known approximately, establish the irrigation volumes by type of crop according to their age and soil class, and schedule the irrigation with Several days in advance. This project is part of the activities of the SIPAS sustainable agricultural production research seedbed belonging to the "Sustainable Production" research group of the ECAPMA School of Agricultural and Livestock Sciences.

## TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	3
RESUMEN .....	4
SUMMARY .....	4
LISTADO DE ABREVIATURAS.....	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
JUSTIFICACIÓN .....	13
OBJETIVO GENERAL .....	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.....	16
Balance hídrico .....	16
Precipitación	
Evaporación .....	17
Requerimiento de riego.....	17
Lamina de agua rápidamente aprovechable (LARA).....	18
Capacidad de campo (CC) .....	18
Punto de marchitez permanente (PMP) .....	19
Agricultura específica por sitio (AEPS).....	19
Zona Agroecológica .....	19
METODOLOGÍA .....	20
Fase 1: Identificación de las condiciones edafoclimáticas de la Finca Formosa.....	22

Localización del proyecto .....	22
Identificación del estudio detallado de suelos.....	22
Identificación de la red pluviométrica .....	22
Identificación de la red meteorológica.....	23
Determinación del requerimiento hídrico del cultivo .....	23
Fase 2: Caracterización del procedimiento técnico para suministrar los requerimientos informativos del software para generar propuesta de manejo del riego.....	24
Identificación o determinación de la red meteorológica y el estudio detallado de suelos .....	24
Fase 3: Determinación de las frecuencias de riego para el cultivo de caña de azúcar en la finca Formosa .....	26
Creación de la Finca en el software para el cálculo del balance hídrico.....	26
Funcionalidad del programa .....	28
Procedimiento automático .....	28
Procedimiento manual .....	28
Generación de informes de Riego.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
Características de áreas y estado varietal de la Finca .....	32
Distribución de la consociación de suelos del estudio detallado de suelos .....	33
Zonificación Agroecológica .....	34
Comportamiento anual de la Precipitación y Evaporación en la zona de estudio.....	35

Red Pluviométrica de la Finca.....	36
Determinación de la red meteorológica.....	37
Propuesta de Manejo de riego .....	38
Informe de cálculo del balance hídrico .....	40
CONCLUSIONES .....	42
RECOMENDACIONES .....	43
ANEXOS.....	44
Anexo 1. Validación del balance hídrico .....	44
Anexo 2. Como medir lluvia en un pluviómetro.....	45
Anexo 3. Tabla de referencia de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) de 179 suelos representativos del valle del río Cauca (213,675 ha).....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	55

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización Geográfica Municipio De Palmira-Valle Del Cauca .....	22
Ilustración 2. Ingreso a las herramientas de Agricultura Especifica Por Sitio a través de la página de Cenicaña .....	25
Ilustración 3. Ingreso a las herramientas de Agricultura Especifica Por Sitio a través de la página de Cenicaña .....	25
Ilustración 4. Identificación de la RMA .....	26
Ilustración 5. Ingreso a la herramienta del balance hídrico .....	27
Ilustración 6. Manejo de la herramienta .....	27
Ilustración 7. Registro de las precipitaciones .....	29
Ilustración 8. Digitación manual de los riegos realizados en la finca a nivel de lotes .....	30
Ilustración 9. Digitación manual de los lotes cosechados y renovados .....	30
Ilustración 10. Mapa de Zonificación Agroecológica de la finca Formosa .....	34
Ilustración 11. Red Pluviométrica de la finca Formosa .....	36
Ilustración 12. Área de influencia de la red meteorológica automatizada más cercana a la finca .....	37
Ilustración 13. Grafico del cálculo del balance hídrico .....	41
Ilustración 14. Cateo de humedad con barreno de media caña holandés .....	44
Ilustración 15. Técnica de humedad al Tacto .....	44
Ilustración 16. Pluviómetro Artesanal,Pluviómetro Fercon y Pluviómetro Hellmann .....	46



## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Área general de la finca y a nivel de lotes cultivados en caña de azúcar. ....	32
Tabla 2. Área (ha) de distribución por consociación de suelo .....	33
Tabla 3. Lotes asociados a los pluviómetros de la finca.....	37
Tabla 4. Programa de riegos para el mes de Junio .....	38
Tabla 5. Programa de riegos para el mes de Julio .....	38
Tabla 6. Programa de riegos para el mes de Agosto .....	39
Tabla 7. Tabla de referencia de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) .....	54

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Grafico 1. Estado varietal de la finca Formosa .....	32
Grafico 2. Porcentaje (%) de distribución por consociación de suelos en la finca Formosa .....	33
Grafico 3. Distribución de Zonas Agroecológicas de la finca Formosa .....	35
Grafico 4. Precipitación anual de la finca Formosa, años 2008-2018 .....	35
Grafico 5. Evaporación anual de la finca Formosa, años 2008-2018 .....	36

## **LISTADO DE ABREVIATURAS**

- (AEPS) Agricultura específica por sitio
- (CC) Capacidad de campo
- (CHS) Contenido de humedad en el suelo
- (EV) Evaporación
- (E<sub>v</sub>) Evapotranspiración
- (IGAC) Instituto Geográfico Agustín Codazzi
- (LARA) Lamina de agua rápidamente aprovechable
- (LAS) Lamina de agua en el suelo
- (P) Precipitación
- (PMP) Punto de marchitez permanente
- (R) Riego
- (RMA) Red meteorológica automatizada

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El uso excesivo de agua para riego en el cultivo de la caña de azúcar esta incrementado considerablemente ya que este juega un factor importante en el desarrollo del cultivo, y utilizar eficientemente este recurso requiere de una programación adecuada que involucre las necesidades hídricas del cultivo y de la zona. No darle un manejo racional al agua utilizada en riegos para cultivos de caña de azúcar está agotando considerablemente las fuentes de agua superficial y acuíferos profundos, dejando sin agua a otros usuarios del mismo sector o dedicados a otras industrias necesitadas del recurso.

Actualmente la programación de los riegos para el cultivo de la caña de azúcar en la finca “Formosa” ubicada en el municipio de Palmira Valle, se realiza de manera empírica, tomando como indicador principal el aspecto fisiológico de la planta y dejando a un lado aspectos como la evaporación de la zona, la transpiración del cultivo y el tipo de suelo.

Cuando se riega de esta manera, se toma el riesgo de realizar la aplicación del riego en un momento inoportuno, ya sea porque el cultivo se está viendo afectado por un déficit hídrico que puede influir en las pérdidas de producción o por un exceso en la aplicación del riego que puede elevar los costos de producción en el cultivo afectando de esta manera los ingresos del productor por el alto costo de esta labor.

Teniendo en cuenta lo anterior se implementará una herramienta informática de agricultura específica por sitio (AEPS) para el cálculo del balance hídrico priorizado en el cultivo de caña de azúcar, donde se identificaran las condiciones edafoclimáticas de la finca y se caracterizara el procedimiento técnico informativo para suministrar los requerimientos del software y obtener el cálculo de balance hídrico, que permita generar una propuesta de

manejo para determinar y priorizar las frecuencias de riego de acuerdo con los requerimientos hídricos del cultivo.

## JUSTIFICACIÓN

En la zona de estudio con una precipitación promedio anual de 1020 mm y una evaporación promedio anual de 1893 mm, según datos de los últimos 10 años registrados por la estación meteorológica del Aeropuerto controlada por Cenicaña, se requiere implementar una tecnología asociada a la eficiencia del uso del agua para riego utilizada en los cultivos de caña de azúcar.

Según Torres Aguas, J. (1995) En el Valle del Cauca la mayor parte del área cultivada en caña de azúcar requiere de la aplicación del riego, una de las labores más costosas en el proceso productivo de este cultivo, ya que para poder regar se necesita del agua que debe ser captada a través de equipos de bombeos superficiales o pozos profundos que requieren de combustible y energía eléctrica para su funcionamiento; motivo por el cual la programación de los riegos en este cultivo es de vital importancia ya que abarca aspectos económicos, productivos y ambientales necesarios para ser sostenibles dentro de la agricultura; Esto lo relaciona Sanclemente *et al* (2015) con respecto a la optimización del recurso hídrico frente a eventos de cambio climático como el fenómeno del niño.

En el valle geográfico del río Cauca se han identificado seis grupos de humedad de acuerdo al balance hidrológico entre la evapotranspiración de la caña y la precipitación y la permeabilidad del suelo (Torres et al., 2009) las zonas de menor precipitación corresponden a los grupos de humedad HO y H1 localizadas entre Candelaria y Buga, en este sector se encuentra Palmira Valle, zona de interés para el proyecto aplicado ya que es una de las zonas donde más se riega por los escasos eventos de precipitación y donde la aplicación de un riego oportuno va influir de manera positiva o negativa de acuerdo a los factores anteriormente mencionados.

La programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar se puede realizar también a través de sensores y tensiómetros que permiten cuantificar la humedad del suelo pero resultan siendo costosos y fuera del alcance de algunos agricultores, por su parte llevar el balance hídrico es una tecnología económica, de fácil aplicación y lo más importante, se asemeja mucho a la relación suelo-agua-planta en el campo sin afectar la productividad y el rendimiento del cultivo.

## **OBJETIVO GENERAL**

Implementar una herramienta informática (software e CENICAÑA v4.0 d) de agricultura específica por sitio (AEPS) para el cálculo balance hídrico priorizado en el cultivo de caña de azúcar *Saccharum officinarum* bajo condiciones edafoclimáticas de la finca “Formosa” en el municipio de Palmira Valle.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las condiciones edafoclimáticas de la finca Formosa a través del GEOPORTAL de CENICAÑA para relacionar la estación meteorológica, grupos de suelos y de humedad.
- Caracterizar el procedimiento técnico informativo para suministrar los requerimientos del software y obtener cálculo de balance hídrico.
- Generar una propuesta de manejo para determinar las frecuencias de riego del cultivo de caña de azúcar en la finca Formosa.

## MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

**Balance hídrico:** El balance hídrico es similar a una contabilidad del agua en el suelo que permite comparar las ganancias y las pérdidas de humedad. El suelo aumenta el contenido de humedad cuando ocurre un evento de precipitación (P) o cuando se le aplica riego (R). Las pérdidas de humedad desde el suelo se deben, principalmente, al agua que transpira la planta (Tr), a las pérdidas por evaporación desde la superficie del suelo (Ev). El balance entre las ganancias y las pérdidas de humedad determina los cambios en el contenido de ésta en el suelo (CHS) durante un período de tiempo determinado (Torres Aguas, J. 1995)

Este balance se puede expresar de la siguiente forma:

$$CHS = (P + R + NF) - (Ev + Tr + Pp)$$

$$CHS = P + R + NF - Eta - Pp$$

En zonas con nivel freático profundo y asumiendo que no existe percolación profunda, la ecuación (2) se puede simplificar a la forma siguiente:

$$CHS = P + R - Eta$$

**Precipitación:** Se conoce como precipitación a la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo). La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la Hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua.

La precipitación (P) que se debe considerar para el balance hídrico es la que efectivamente



llega hasta el suelo, que es una fracción de la precipitación incidente ( $P_i$ ) medida en un pluviómetro representativo de la suerte a la cual se pretende calcularle el balance hídrico.

De acuerdo con una investigación reciente de Cenicaña (Alarcón y Cruz, 2012), la precipitación efectiva en el cultivo de caña de azúcar se puede estimar en:

- Alrededor de 80% en precipitaciones entre 1 mm y 12 mm ( $P = 0.8 * P_i$ , si  $P_i \leq 12$  mm)
- Cerca de 90% en precipitaciones superiores a 12 mm ( $P = 0.9 * P_i$ , si  $P_i \geq 12$  mm)

Teniendo en cuenta que la  $P_i$  puede variar de un sitio a otro e incluso dentro de una misma zona, en cada predio se debe contar con una red de pluviómetros establecida de acuerdo con la variabilidad de la lluvia.

**Evaporación:** La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

La evaporación se mide en el tanque clase A y, a diferencia de la precipitación, presenta una menor variación y por ello puede obtenerse de una estación distante varios kilómetros, siempre y cuando corresponda a la misma zona en cuanto a radiación solar, oscilación de la temperatura del aire, velocidad del viento y humedad relativa del aire.

Cabe anotar que para obtener la evaporación medida en el tanque clase A se han presentado muchas dificultades en nuestra región, razón por la cual Cenicaña acometió el trabajo de estimar la evaporación del tanque clase A con base en otros parámetros del clima medidos diariamente en las estaciones de la Red meteorológica automatizada.

**Requerimiento de riego:** Equivale al agua que se pierde por evaporación directa desde la superficie del suelo más el agua que se pierde por transpiración a través del tejido foliar. La

evapotranspiración es afectada por factores del suelo, la planta y el clima. El consumo total de agua de la caña de azúcar en los diferentes países varía en forma amplia, debido a las diferencias en los ciclos de cultivo. Por lo general, este consumo oscila entre 1200 y 1500 mm por año de cultivo, siendo mayor en las zonas subtropicales que se caracterizan por épocas secas más prolongadas y por una evaporación mayor que en las zonas tropicales.

CENICAÑA ha encontrado que en el Valle del Cauca, durante el período de macollamiento de la planta (2 a 4 meses) se puede usar un valor  $K = 0.3$ , y durante en el período de rápido crecimiento (4 a 10 meses) este valor puede ser  $K = 0.8$ .

**Lamina de agua rápidamente aprovechable (LARA):** El suelo puede considerarse como un reservorio de agua, pero la planta solo puede utilizar aquella agua que es retenida por el suelo en el rango entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) por lo cual se denomina agua aprovechable. Del total de agua disponible, una parte se puede agotar sin que se afecte la producción del cultivo, pero una vez agotada esta porción se debe aplicar el riego. Esta fracción de agua se denomina: lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA), Para iniciar el balance hídrico se pueden utilizar los valores que se presentan en la tabla de referencia de la LARA de los principales suelos del valle de río Cauca. (Cenicaña, 2015)

**Capacidad de campo (CC):** Se define como la cantidad de agua que es retenida por el suelo después de haber recibido un riego pesado, una lluvia fuerte o varios eventos de precipitación que lo saturen hasta una profundidad de 60 cm como mínimo. La CC corresponde a un rango de valores en la humedad del suelo cuando los cambios en el contenido de humedad son pequeños. La capacidad de campo es afectada por los cambios en la textura y en la estructura que ocurren en los diferentes horizontes del perfil del suelo, y depende de las condiciones locales; por tanto, se recomienda determinarla directamente

con muestreos de campo.

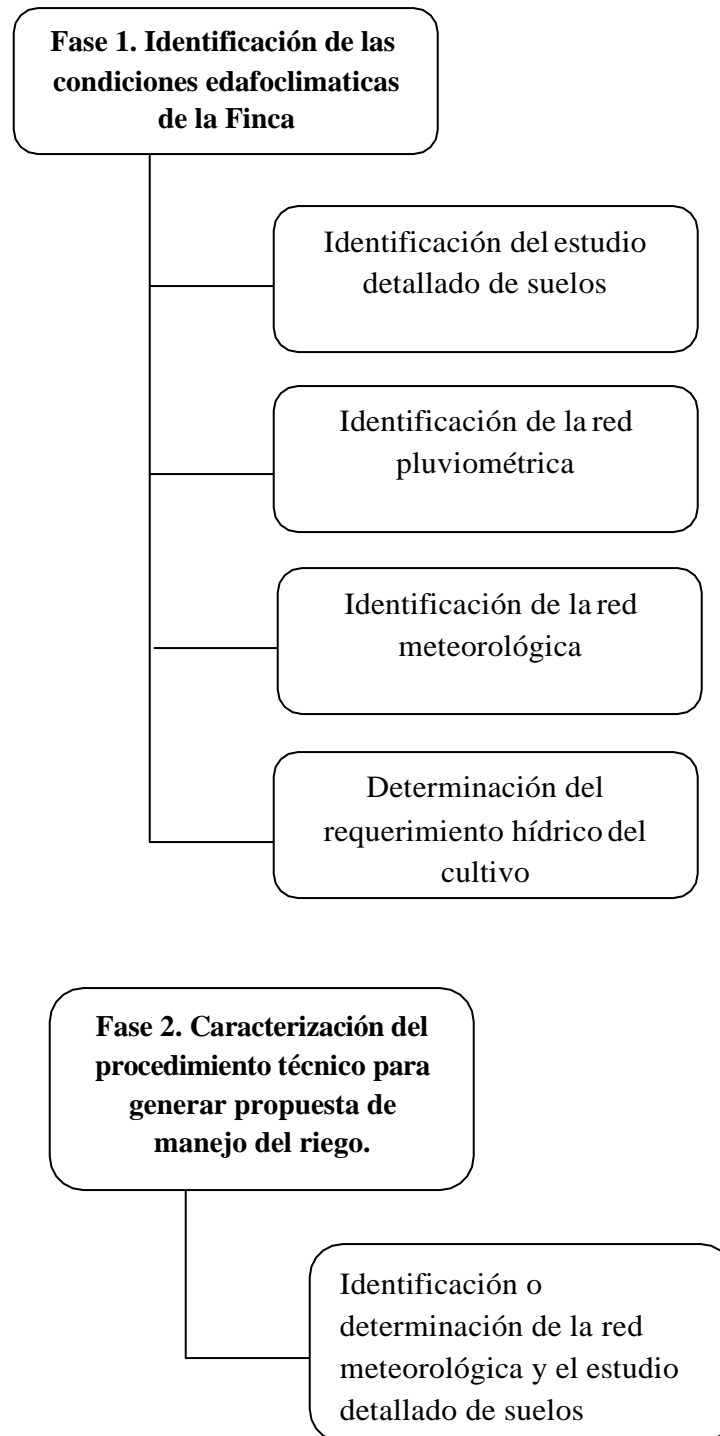
**Punto de marchitez permanente (PMP):** es el rango en el contenido de humedad del suelo en el cual la planta no puede extraer agua y se marchita de manera permanente a pesar de que se le suministre agua. Este valor está afectado por el movimiento capilar del suelo, que controla el flujo de agua hacia la raíz.

**Agricultura específica por sitio (AEPS):** Arte de realizar las prácticas agronómicas requeridas por una especie vegetal de acuerdo con las condiciones espaciales y temporales del sitio donde se cultiva, para obtener de ella su máximo rendimiento potencial. De acuerdo a éste enfoque, la información de las características; de cada sitio de cultivo es empleada como la base para orientar los procesos de transferencia de tecnología que traen consigo impacto económico (Isaacs et al., 2004)

**Zona Agroecológica:** Las zonas agroecológicas resultan de combinar la información agroclimática correspondiente a 33 Grupos Homogéneos de Suelos y seis Grupos de Humedad, definidos con base en los estudios detallados de suelos realizados en 216,765 hectáreas de la parte plana del valle del río Cauca y en el balance hidrológico regional calculado con una probabilidad de exceso de 75%. La nomenclatura de las zonas agroecológicas está definida por un número inicial entre 1 y 33 (identifica el Grupo Homogéneo de Suelos) seguido de la letra “H” unida a un número entre 0 y 5 (identifica el Grupo de Humedad). (Cenicaña, 2013)

## METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama se resumen las fases del proyecto:



### **Fase 3. Determinación de las frecuencias de riego**

Creación de la Finca en el software para el cálculo del balance hídrico

Funcionalidad del programa

Generación de informes de Riego

## **Fase 1: Identificación de las condiciones edafoclimáticas de la Finca Formosa**

**Localización del proyecto:** el sitio de estudio en el cual se realizó el proyecto aplicado fue La finca Formosa, ubicada en el municipio de Palmira Valle con coordenadas geográficas 3°32'57.2"N 76°23'38.4"W a una altitud de 930 MSNM (coordenadas del Geoportal de Cenicaña).



*Ilustración 1. Localización Geográfica Municipio De Palmira-Valle Del Cauca Fuente: <http://www.olmue.com.co/wp-content/uploads/2012/08/colombia-valle-palmira.jpg>*

Los datos de registro para el informe de programación de riego fueron analizados en un periodo de verano correspondiente al segundo trimestre del año 2019 (Junio, Julio y Agosto)

**Identificación del estudio detallado de suelos:** Para la identificación del estudio detallado de suelos se tomó en cuenta un estudio de suelos realizado por CENIAÑA, El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Garcia y Colaboradores en el 2006 y 2007 donde se realizó una clasificación a nivel de familia textural y que está disponible en el Geoportal de CENICAÑA donde aparecen las consociaciones y texturas de los diferentes tipos de suelos en la finca Formosa.

**Identificación de la red pluviométrica:** La identificación de los pluviómetros se realizó en la finca, observando el numero de pluviómetros existentes actualmente, el estado en que se encuentran y si son reglamentarios o no. Adicionalmente se tuvo en cuenta las investigaciones realizadas por CENICAÑA para definir una red de pluviometría de la

siguiente manera con el objetivo de disminuir el efecto de variabilidad espacial que presentan las precipitaciones:

- 1-2 pluviómetros para 50 hectáreas o menos
- 3 pluviómetros para 50-100 hectáreas
- 4 pluviómetros para 100-200 hectáreas
- 5 pluviómetros para 200-300 hectáreas
- + 1 pluviómetro por cada 100 hectáreas por encima de las 300 hectáreas

**Identificación de la red meteorológica:** La identificación de red meteorológica se realizó a través del Geoportal de Cenicaña, con base en las estaciones meteorológicas automatizadas que CENICAÑA tiene instalada en todo el valle geográfico del río Cauca, se determinó cuál de estas estaciones presenta el área de influencia más significativa, esta estación fue la encargada de suministrar los datos de evaporación necesarios para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo.

**Determinación del requerimiento hídrico del cultivo:** Para el cálculo de la transpiración se utilizaron los datos de investigación realizados por Cruz et al., 2009 sobre el uso consuntivo de la caña de azúcar en las condiciones ambientales del valle geográfico del río Cauca, donde se han encontrado el factor K para la programación de los riegos de acuerdo con la edad del cultivo.

1-3 meses de edad: 0.3

3-4 meses de edad: 0.4

4-5 meses de edad: 0.6

5-6 meses de edad: 0.7

6-8 meses de edad: 0.8

8-9 meses de edad: 0.7

9-10 meses de edad: 0.6

**Fase 2: Caracterización del procedimiento técnico para suministrar los requerimientos informativos del software para generar propuesta de manejo del riego.**

**Identificación o determinación de la red meteorológica y el estudio detallado de suelos:** La identificación de red meteorológica y el estudio detallado de suelos se realizó a través de la página de Cenicaña, ingresando a <https://www.cenicana.org/>, posteriormente nos dirigimos a las herramientas web para la AEPS (Agricultura Específica Por Sitio) donde utilizaremos la herramienta GEOPORTAL, una vez se ingresó a la herramienta se buscó el nombre de la Finca de interés, adicionalmente aparecerán 5 convenciones, correspondientes a Mapas Temáticos, Climatología, Productividad, Zonas de Restricción y Mas Aplicaciones. Las convenciones de nuestro interés fueron Mapas Temáticos que es donde encontraremos el estudio detallado de suelos de la Finca y Climatología donde nos indicara cual es la estación meteorológica más cercana a la Finca.

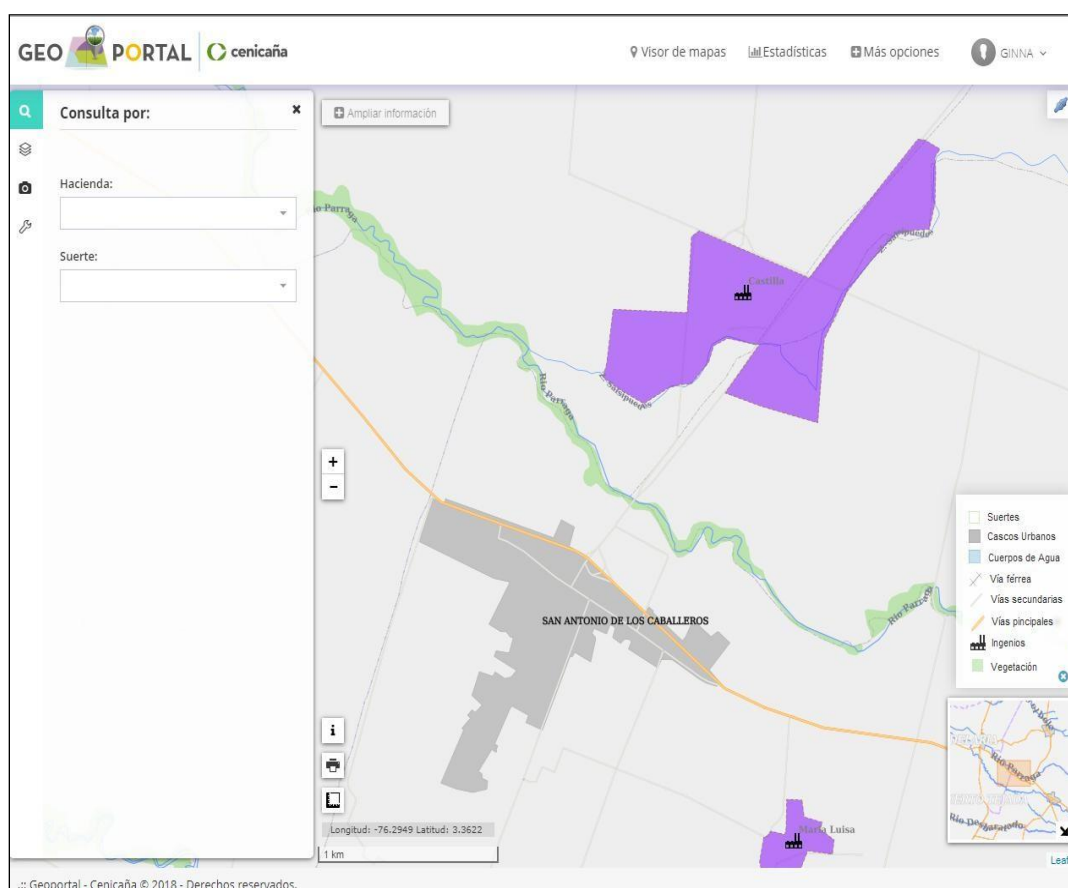
Para el ingreso a las herramientas de AEPS (Agricultura Específica por Sitio) es necesario contar con un respectivo usuario y contraseña, el cual es asignado por Cenicaña a los funcionarios de ingenios y a los cultivadores de Caña que realizan donaciones al centro de investigación.





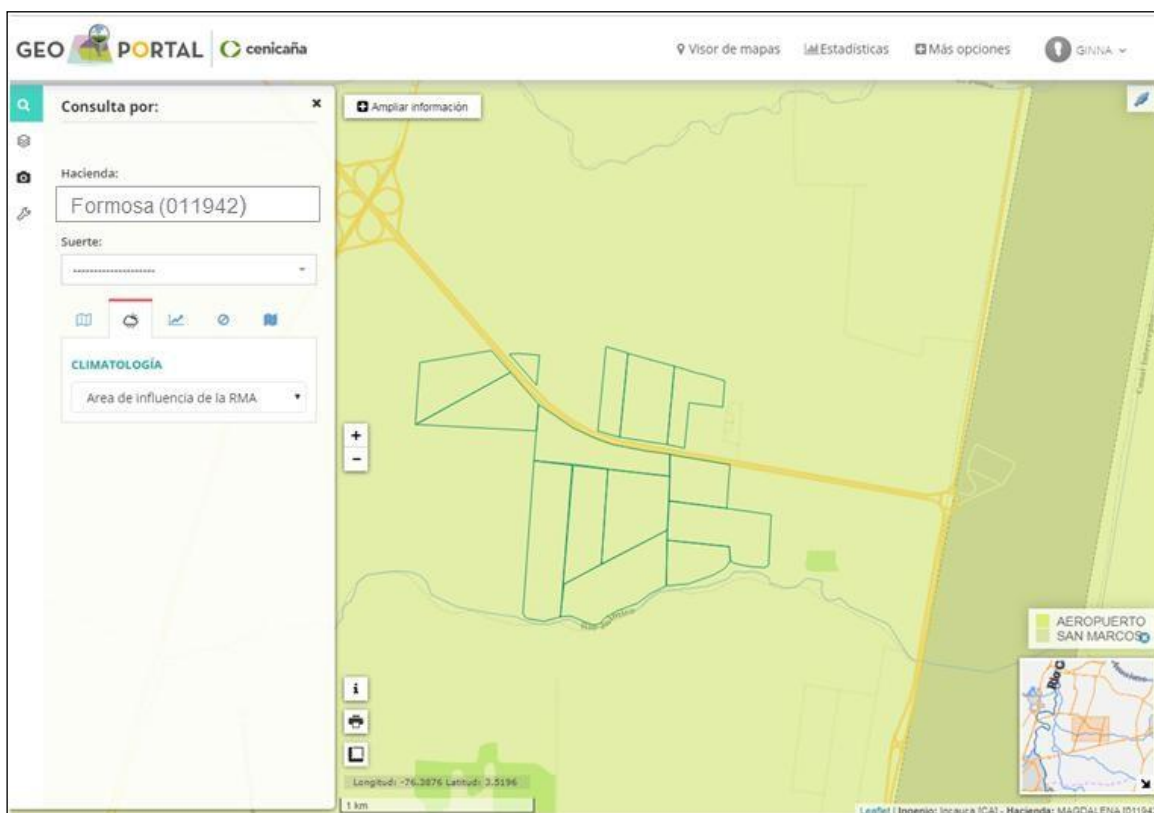
*Ilustración 2. Ingreso a las herramientas de Agricultura Específica Por Sitio a través de la página de Cenicaña*

En la *Ilustración 3* se observa cómo se ingresó al Geoportal de Cenicaña y se buscó la finca de interés con los respectivos lotes (suertes) con los que cuenta la finca en el momento de la consulta.



*Ilustración 3. Ingreso a las herramientas de Agricultura Específica Por Sitio a través de la página de Cenicaña*

Para realizar la identificación de la Red meteorológica automatizada (RMA), ingresamos a la opción climatología y automáticamente el programa nos indicó cual es la RMA más cercana a la finca y la cual nos suministró los datos de evaporación necesarios para el cálculo del balance hídrico.



*Ilustración 4. Identificación de la RMA*

**Fase 3: Determinación de las frecuencias de riego para el cultivo de caña de azúcar en la finca Formosa.**

**Creación de la Finca en el software para el cálculo del balance hídrico:** La creación de la finca se realizó ingresando al Balance hídrico priorizado desde el sitio web de Cenicaña, donde se registraron los datos de usuario (correo electrónico y clave), a través del menú CREAR/MODIFICAR con la información básica de los numerales y literales utilizados para identificar cada lote, la estación meteorológica automatizada más cercana, el

pluviómetro que se va a asociar a cada uno de los lotes, la fuentes de agua utilizadas para regar cada uno de los lotes (pozo-bombeo superficial), la información cronológica del lote (área, variedad, fecha de siembra y fecha de corte), el tipo de suelo y lamina de agua rápidamente aprovechable (LARA) que se asociara de acuerdo al estudio detallado de suelos como se puede observar en las ilustraciones

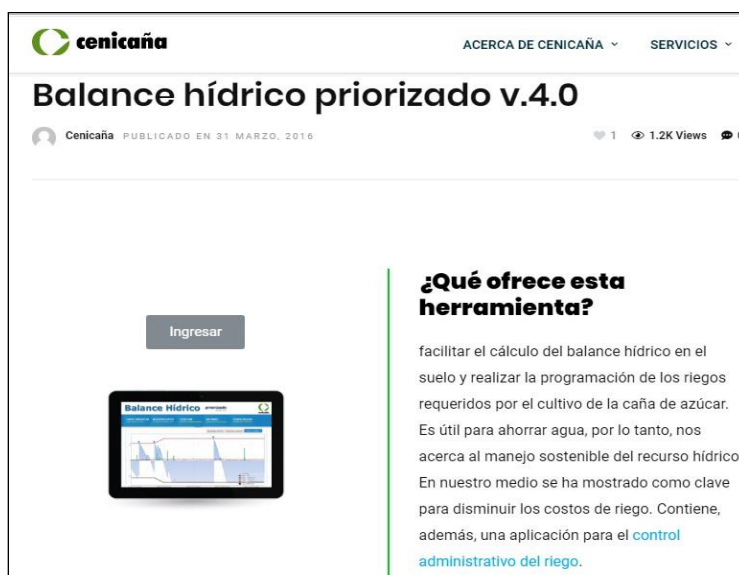


Ilustración 5. Ingreso a la herramienta del balance hídrico



Ilustración 6. Manejo de la herramienta

**Funcionalidad del programa:** La funcionalidad del programa consta de 2 procedimientos, uno automático y otro manual que se describen a continuación.

**Procedimiento automático:** Consiste en el cálculo automático de la evapotranspiración a través de la captura automática del valor de la evaporación diaria de la zona de estudio a través de la estación meteorológica automatizada asignada previamente y lo multiplica por los valores de transpiración diaria de acuerdo con la edad del cultivo, adicionalmente calcula la lamina de agua en el suelo en mm de acuerdo a las precipitaciones o riegos que se presentan en la zona indicando los días en los que se encuentra en déficit o exceso de humedad.


Adicionalmente el programa también realiza el cálculo automático de la precipitación efectiva, cuando se ingresan valores de precipitaciones inferiores a 12 mm, el programa realiza la contabilización teniendo en cuenta el 80% de la precipitación, y el 90% con precipitaciones superiores a los 12 mm.

**Procedimiento manual:** Consiste en la digitación manual de los valores de precipitación diarios en la zona en cada pluviómetro, la fecha inicial de cada uno de los lotes regados y la actualización de los lotes sembrados, cosechados y renovados. Esta información es suministrada diariamente por el mayordomo de la finca.

En la ***Ilustración 7*** se observa cómo se registra la información de las precipitaciones, donde se debe seleccionar el pluviómetro asignado, digitar el valor de la precipitación y el día en que se presentó el evento de precipitación.

# Balance Hídrico

priorizado  
versión 4.0



CREAR / MODIFICAR  
HDA, SUERTE, PLUV...

REGISTRAR DATOS  
LLUVIAS, RIEGOS, LAS

COSECHAR  
CORTES, RENOVACIONES

INFORMES  
RIEGOS, CÁLCULO BH,...

CONFIGURACIÓN  
ADMÓN DEL SISTEMA

Inicio
Precipitación

Precipitación registrada  
Mostrar/Ocultar

Pluviómetro: PLUVIOMETRO 1 For

Fecha	Precipitación (mm)
2019-11-16	3
2019-11-15	11
2019-11-14	10
2019-11-13	5
2019-11-12	10
2019-11-04	4
2019-10-23	12
2019-10-18	3
2019-10-13	18
2019-10-12	7
2019-10-09	5
2019-10-07	1
2019-10-03	6
2019-10-01	13
2019-09-20	15
2019-09-19	35
2019-09-18	15
2019-07-25	4
2019-07-24	4
2019-06-13	3

Nuevo
Editar
Grabar
Eliminar
Cancelar

**Registro: Individual**

Pluviómetro: PLUVIOMETRO 1 FORMOSA  
Fecha: 2019-11-16  
Precipitación (mm): 3

**Registro: Múltiple**

Pluviómetro	Fecha	Precipitación (mm)
1 Seleccione	2019-12-04	
2 Seleccione	2019-12-04	
3 Seleccione	2019-12-04	
4 Seleccione	2019-12-04	
5 Seleccione	2019-12-04	

GUARDAR

*Ilustración 7. Registro de las precipitaciones*

En La **Ilustración 8** se observa la manera en que se registraron los riegos, donde se debe seleccionar la finca, los lotes a los que se le va a asignar el riego, posteriormente se ingresó la fecha inicial del día en que se inició a regar, el nombre de la fuente de agua que se utilizó, el sistema de riego utilizado. Para los sistemas de riego por aspersión o goteo es necesario asignar el valor de la lámina que se aplica en cada riego, para el riego por gravedad es necesario seleccionar la opción donde se afirma que la suerte llevo a capacidad de campo (CC), ya que cuando se riega por este sistema normalmente se aplica más agua de la requerida.

*Ilustración 8. Digitación manual de los riegos realizados en la finca a nivel de lotes*

*Ilustración 9. Digitación manual de los lotes cosechados y renovados*

En la **Ilustración 9** se observa la opción corte o renovación de suertes, en esta opción se registraron las fecha en que fueron cosechados los lotes de la finca, posteriormente aparece

una opción que indica si está seguro de cortar la suerte donde se selecciono la opción aceptar y a partir de esta fecha inicia el cálculo del balance hídrico en el programa. Cuando se desea renovar un lote, se realiza el corte normal en el programa, posteriormente aparece un cuadro de dialogo que indica, ¿después de haber registrado el corte desea renovar la suerte? Y se decide si SI o NO.

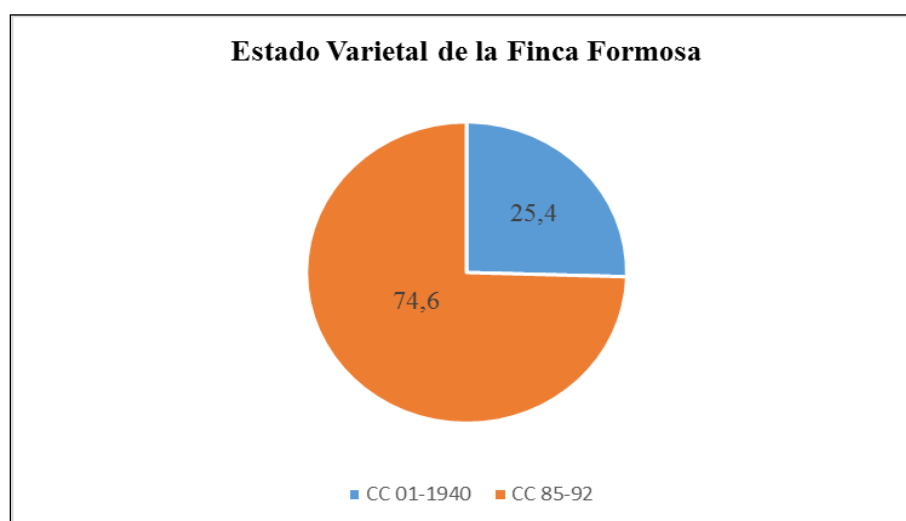
**Generación de informes de Riego:** A través de la actualización de lluvias, riegos, cortes y siembras, en la opción informes se generó un reporte de la frecuencia de riego que indica los lotes prioritarios a regar, teniendo en cuenta el tipo de suelo, la evaporación diaria de la zona, la transpiración, edad y estado del cultivo. Esta información se puede obtener en tiempo real y desde cualquier parte del mundo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

**Características de áreas y estado varietal de la Finca:** El área total de la finca es de 112.4 hectáreas cultivadas en caña de azúcar, distribuidas en 12 lotes, actualmente hay tres plantillas (lotes sin cosechar) correspondientes a la variedad CC 01-1940 que representa el 25.4% del área total de la finca, y el 74.6% restante del área corresponde a la variedad CC 85-92, como se puede observar en la Tabla 1 y grafico 1.

Lote	Fecha de la siembra	Fecha de corte	Variedad	Corte	Área (ha)
111	07/11/2018	07/11/2018	CC 01-1940	0	9,5
112	07/11/2018	07/11/2018	CC 01-1940	0	9
151	01/02/2017	15/05/2019	CC 85-92	6	6
212	12/10/2009	22/12/2018	CC 85-92	10	11,4
222	30/06/2010	29/09/2018	CC 85-92	9	10,3
231	14/11/2018	14/11/2018	CC 01-1940	0	10,1
290	02/07/2010	03/10/2018	CC 85-92	9	15,4
310	01/02/2014	17/05/2019	CC 85-92	6	14,1
320	01/02/2014	11/05/2019	CC 85-92	6	6
360	21/01/2014	13/05/2019	CC 85-92	6	5,6
370	26/01/2014	10/05/2019	CC 85-92	6	10
380	01/02/2014	26/12/2018	CC 85-92	6	5
<b>Total Área sembrada en Caña</b>					<b>112,4</b>

*Tabla 1. Área general de la finca y a nivel de lotes cultivados en caña de azúcar.*



*Grafico 1. Estado varietal de la finca Formosa*

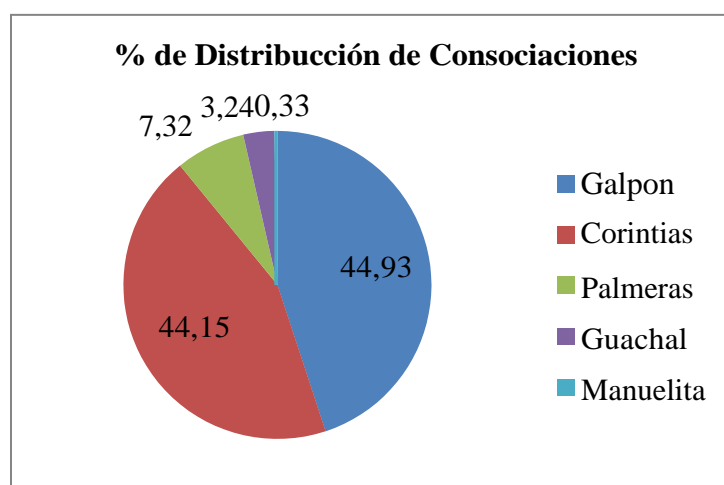


**Distribución de la consociación de suelos del estudio detallado de suelos:** la distribución de las consociaciones de suelos existentes en la Finca indican que el 88% de los suelos corresponden a la serie Galpón y Corintias, caracterizados por presentar suelos de texturas arcillosas con propiedades verticas, es decir que se agrietan cuando se secan, razón por la cual se debe de realizar el riego de manera oportuna, evitando el agrietamiento en estos lotes que generan altos consumos de agua que no son aprovechados por el cultivo ya que se pierden por percolación o escorrentía. Los suelos más representativos de la finca son el Corintias (Typic Haplusterts), Manuelita (Fluventic Haplustolls) y San Rosa (Entic Haplusterts), suelos caracterizados por presentar texturas arcillosas y franco arcillosas, según la zonificación agroecológica: 6H0, 11H0 y 23 H1 respectivamente.

**Tabla de consociación de suelos de la finca Magdalena**

Nombre	Símbolo	Familia Textural	Área (ha)
Galpon	GL	Fina	54,88
Corintias	CT	Fina	53,93
Palmeras	PM	Francosa Fina	8,94
Guachal	GH	Limosa Fina	3,96
Manuelita	MN	Francosa Fina	0,41

*Tabla 2. Área (ha) de distribución por consociación de suelo*



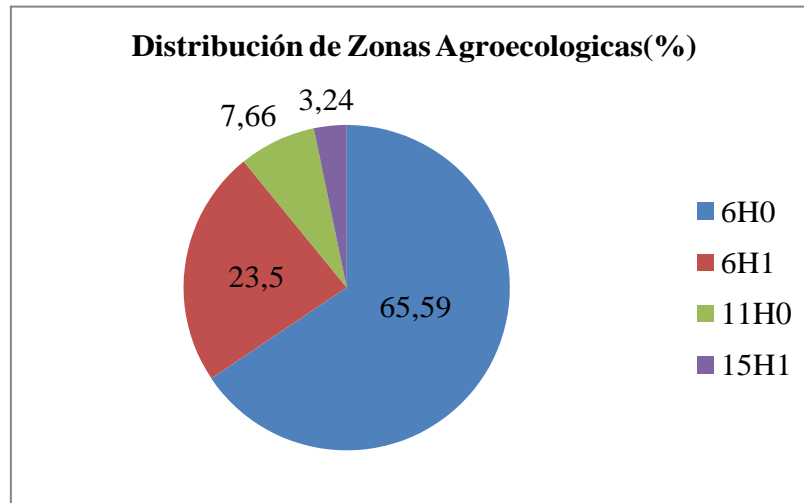
*Grafico 2. Porcentaje (%) de distribución por consociación de suelos en la finca Formosa*

**Zonificación Agroecológica:** La nomenclatura de las zonas agroecológicas está definida por un número inicial entre 1 y 33 (identifica el Grupo Homogéneo de Suelos) seguido de la letra “H” unida a un número entre 0 y 5 (identifica el Grupo de Humedad). Cenicaña (2013)

Las zonas más representativas de la finca corresponden a las zonas agroecológicas 6H0 y 6H1. La zona agroecológica 6H0 es caracterizada por presentar déficit de humedad y permeabilidad del suelo de media a alta con una participación del 65 % del área total de la finca. Por su parte la zona agroecológica 6H1 tiene una participación del 23% del área total, en esta zona se incluyen las áreas con exceso de humedad inferior a 200 mm/año y permeabilidad del suelo media a alta, así como aquellas áreas en donde, a pesar de presentar déficit de humedad, pueden ocurrir encharcamientos debido a la poca pendiente del terreno o por tener suelos de permeabilidad baja. Como se menciono anteriormente estos suelos son caracterizados por presentar texturas finas, secos y profundos que se agrietan al secarse, limitados por la escasez de macroporos.

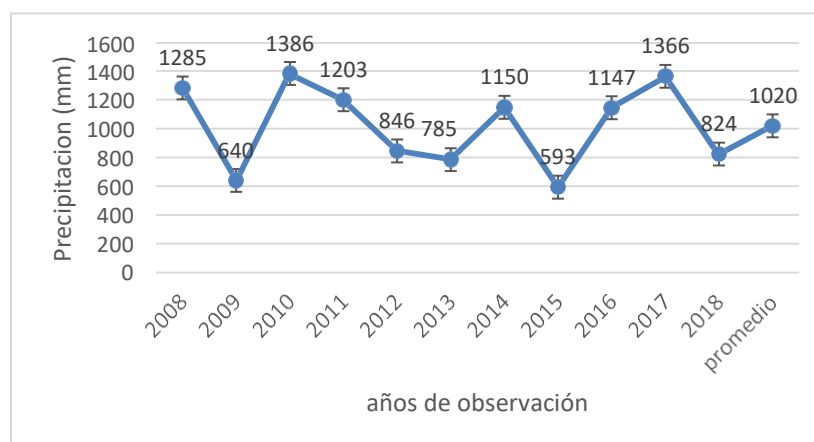


**Ilustración 10. Mapa de Zonificación Agroecológica de la finca Formosa**  
<https://www.cenicana.org/apps/geoportal/src/frontend/index.html#15/3.5351/-76.4076>

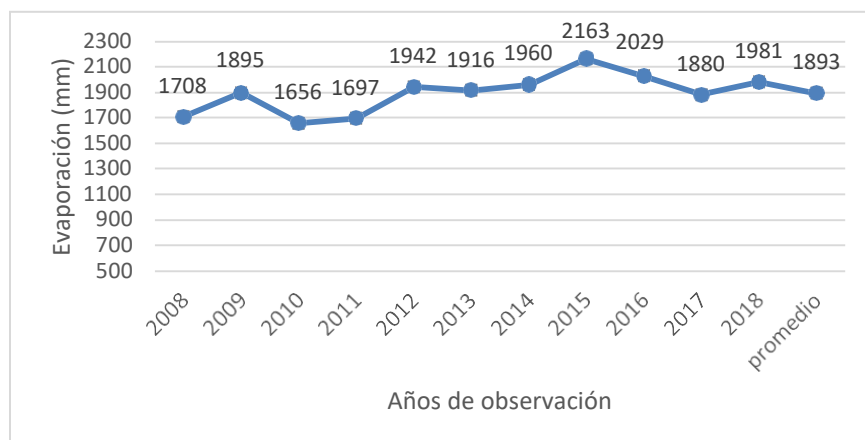


*Grafico 3. Distribución de Zonas Agroecológicas de la finca Formosa*

**Comportamiento anual de la Precipitación y Evaporación en la zona de estudio:** De acuerdo con los datos obtenidos a través de las consultas en línea de la base de la RMA (Red Meteorológica automatizada) de CENICAÑA, estación Aeropuerto. En el periodo 2008-2018 se puede observar que la precipitación promedio anual es de 1020 mm, y la evaporación anual promedio es de 1893 mm, donde se puede observar claramente una diferencia significativa de 893 mm anuales, los cuales se deben suministrar a través del riego para el buen desarrollo del cultivo.

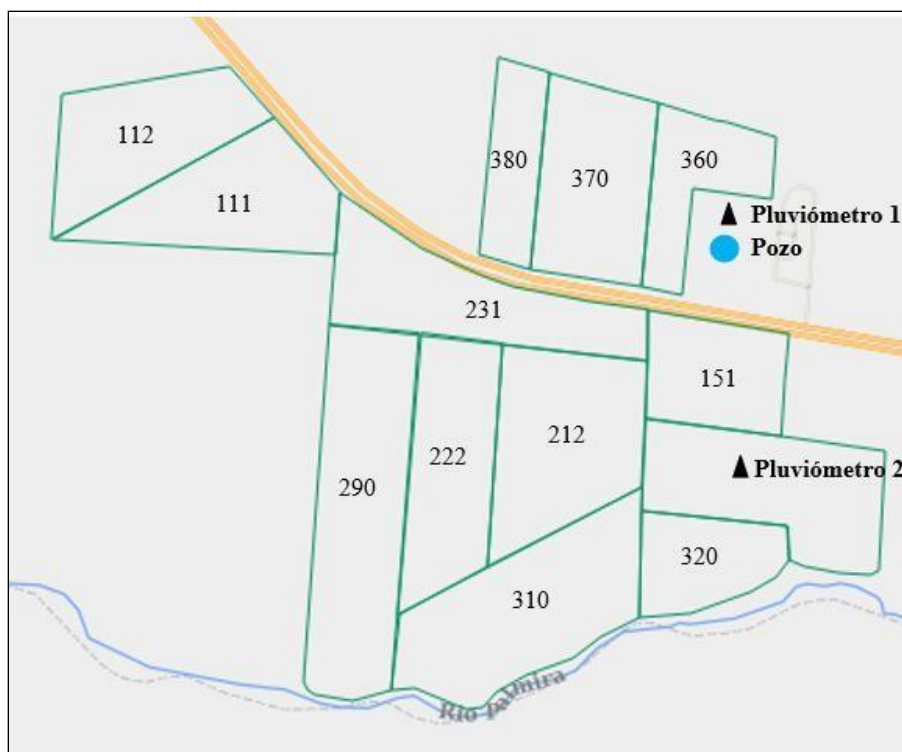


*Grafico 4. Precipitación anual de la finca Formosa, años 2008-2018 CONSULTA EN LÍNEA A LA BASE DE DATOS DE LA RMA [https://www.cenicana.org/apps/meteoportal/public/informacion\\_diaria](https://www.cenicana.org/apps/meteoportal/public/informacion_diaria)*



**Grafico 5. Evaporación anual de la finca Formosa, años 2008-2018 CONSULTA EN LÍNEA A LA BASE DE DATOS DE LA RMA**  
[https://www.cenicana.org/apps/meteoportal/public/informacion\\_diaria](https://www.cenicana.org/apps/meteoportal/public/informacion_diaria)

**Red Pluviométrica de la Finca:** Teniendo en cuenta la variabilidad espacial que se pueden presentar en las diferentes zonas de la finca con respecto a las precipitaciones, se vio la necesidad de realizar la instalación de dos pluviómetros que se asociaron a los diferentes lotes de la finca como se puede observar en las ***Ilustraciones 11*** y ***Tabla 17***.



**Ilustración 11. Red Pluviométrica de la finca Formosa**

Lotes	Pluviómetro
111	Pluviómetro 1 magdalena
112	Pluviómetro 1 magdalena
151	Pluviómetro 2 magdalena
212	Pluviómetro 2 magdalena
222	Pluviómetro 2 magdalena
231	Pluviómetro 1 magdalena
290	Pluviómetro 2 magdalena
310	Pluviómetro 2 magdalena
320	Pluviómetro 2 magdalena
360	Pluviómetro 1 magdalena
370	Pluviómetro 1 magdalena
380	Pluviómetro 1 magdalena

*Tabla 3. Lotes asociados a los pluviómetros de la finca*

**Determinación de la red meteorológica:** La RMA más cercana la Finca es denominada Aeropuerto, ya que esta cerca al aeropuerto de Palmira Valle, y esta a 4.10 km de distancia de la finca, esta estación suministro datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar, dirección de viento, evaporación y registros históricos. No obstante los datos de precipitación no fueron tomados de la estación, sino que tomaron de los pluviómetros que se instalaron en la finca.

Área de influencia de la(s) estación(es) de la red meteorológica automatizada

Ingenio: Incauca Hacienda: MAGDALENA\_011942

Mostrando 5 registros por página

Buscar:

Print PDF Excel CSV Columns

Código	Abreviatura	Nombre	Latitud	Longitud	Área (ha)	Distancia (km)
21	AER	AEROPUERTO	3.5102	-76.3795	135.8	4,10

Para consultar la información meteorológica (en tiempo real) y climatología (registros históricos) sobre las variables atmosféricas temperatura, oscilación de temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación, evaporación y viento en el valle del río Cauca, ingrese a:

Boletín diario de la RMA Base de datos de la RMA

Cerrar

*Ilustración 12. Área de influencia de la red meteorológica automatizada más cercana a la finca*

**Propuesta de Manejo de riego:** A través de la actualización de lluvias, riegos, cortes y siembras, se generó un informe de programación de riegos que indica los lotes prioritarios a regar, teniendo en cuenta el tipo de suelo, la evaporación diaria de la zona, la transpiración, edad y estado del cultivo. Esta información se puede obtener en tiempo real y desde cualquier parte del mundo. El programa de riego se generó para los meses de Junio, Julio y Agosto. Como se puede observar en las ilustraciones.

Programación de riegos Finca Formosa Junio 05 del 2019								
Ste	Área (ha)	Núm. riegos	LAS (mm)	Precipitación acumulada (mm)	Edad (meses)	Días para Riego	Estado de la suerte	Fecha de ultimo Riego
380	5,00	2	-16	217	5,5	-5	Soca entre 4 y 7 meses	08/03/2019
212	11,40	1	2	243	5,6	1	Soca entre 4 y 7 meses	23/02/2019
111	9,48	5	15	280	7,1	4	Plantilla entre 7 y 10 meses	13/03/2019
112	9,04	5	18	280	7,1	5	Plantilla entre 7 y 10 meses	13/05/2019
290	15,37	4	21	339	8,3	7	Soca entre 7 y 10 meses	08/05/2019
222	10,29	4	24	335	8,4	8	Soca entre 7 y 10 meses	06/05/2019

Tabla 4. Programa de riegos para el mes de Junio

Programación de riegos Finca Formosa Julio 05 del 2019								
Ste	Área (ha)	Núm. riegos	LAS (mm)	Precipitación acumulada (mm)	Edad (meses)	Días para Riego	Estado de la suerte	Fecha de ultimo Riego
370	9,99	0	-22	52	1,9	-14	Soca menor a 2 meses	
380	5,00	3	-16	226	6,4	-4	Soca entre 4 y 7 meses	08/06/2019
212	11,40	2	-2	253	6,5	-1	Soca entre 4 y 7 meses	12/06/2019
290	15,37	5	9	349	9,2	3	Soca entre 7 y 10 meses	15/06/2019
222	10,29	5	10	345	9,3	3	Soca entre 7 y 10 meses	14/06/2019
111	9,48	6	17	289	8,0	5	Plantilla entre 7 y 10 meses	21/06/2019
112	9,04	6	17	289	8,0	5	Plantilla entre 7 y 10 meses	20/06/2019

Tabla 5. Programa de riegos para el mes de Julio

Programación de riegos Finca Formosa Agosto 05 del 2019								
Ste	Área (ha)	Núm. riegos	LAS (mm)	Precipitación acumulada (mm)	Edad (meses)	Días para Riego	Estado de la suerte	Fecha de ultimo Riego
231	10,11	6	-75	295	8,8	-19	Plantilla entre 7 y 10 meses	26/06/2019
380	5,00	4	-19	232	7,4	-4	Soca entre 7 y 10 meses	13/07/2019
212	11,40	3	9	260	7,6	3	Soca entre 7 y 10 meses	18/07/2019
310	14,10	1	3	67	2,7	2	Soca entre 2 y 4 meses	02/07/2019
320	6,03	1	6	67	2,9	3	Soca entre 2 y 4 meses	04/07/2019
151	6,00	1	9	67	2,8	6	Soca entre 2 y 4 meses	05/07/2019
360	5,58	1	14	54	2,8	7	Soca entre 2 y 4 meses	08/07/2019
370	9,99	1	18	58	2,9	8	Soca entre 2 y 4 meses	10/07/2019

*Tabla 6. Programa de riegos para el mes de Agosto*

El signo negativo de la LAS indica que se ha agotado totalmente la reserva de agua rápidamente aprovechable del suelo, lo que no significa que ya no queda agua en el suelo, sino que el valor de humedad está por debajo del nivel establecido para riego y existe un déficit, este se incrementara en caso de que no se pueda regar y sigue consignado su signo negativo en la LAS.

No necesariamente hay que esperar que la LAS sea cero o se aproxime a cero para tomar la decisión de regar. Teniendo en cuenta el área para regar, la disponibilidad y disminución del recurso hídrico en la finca y en la medida que se prolonga el período seco, se recomienda iniciar el riego con suficientes días de anticipación para evitar déficit de agua en el cultivo. El riego puede programarse con varios días de anticipación en el supuesto de que no se presenten lluvias y trabajando la evaporación promedio de algunos registros previos.

Durante la época seca hay que ser estrictos con la aplicación de los riegos cuando el balance así lo demande, mientras que en la época lluviosa, si se presenta un receso de las lluvias que ocasiona un déficit hídrico, el riego se puede posponer si el déficit es pequeño, teniendo en cuenta la alta probabilidad de que vuelva a llover.

El programa fue configurado para que el ciclo de riego inicie a los 1.8 meses y va hasta los 10.5 meses de edad del cultivo, razón por la cual las suertes que no estén en este rango de edad no aparecieron en el programa de riego, la configuración de esta edad se debe a que después de la cosecha se deben de realizar las labores de despaje y subsuelo para facilitar el rebrote de la plantación, estas labores se tardan alrededor de 45 días después de la cosecha para el caso de las socas (lotes que han sido cosechados más de una vez) , para el caso de las plantillas (lotes que no han sido cosechados) la contabilización del programa iniciara cuando se realiza el riego de germinación. La idea de NO regar después de los 10.5 meses de edad es porque económicamente no es rentable regar, pues las toneladas producidas después de esta edad no compensan el alto costo de esta labor. Sin embargo si los lotes se cosechan antes o después de los 12 o 13 meses de edad, el monitoreo del balance hídrico se puede continuar de manera indefinida de tal manera que podamos obtener el registro hídrico completo de la plantación.

**Informe de cálculo del balance hídrico:** En la ilustración se puede apreciar un ejemplo del cálculo del balance hídrico para suerte la suerte 231. Podemos observar los riegos que se han realizado y los eventos de precipitación, también se observa claramente como para el mes de Agosto se presenta un déficit de humedad ocasionado por las bajas precipitaciones entre el 14-07-2019, fecha en la que comienza el déficit hídrico y el 12-08-2019, fecha en la que se inicia a regar las suerte. Por esta razón podemos observar que para la programación de riegos generada el día 05-08-2019, la suerte presentaba 19 días de atraso. Durante este cálculo la lamina de agua en suelo (LAS) sale del déficit de hídrico gracias a las precipitaciones que iniciaron a mediado de septiembre.





*Ilustración 13. Gráfico del cálculo del balance hídrico*

De acuerdo con los resultados del cálculo del balance hídrico, es pertinente tener en cuenta los momentos oportunos para el riego, ya que someter el cultivo a un estrés ocasionado por déficit hídrico puede afectar la productividad hasta en 7 toneladas de caña por hectárea, especialmente en la edad de rápido crecimiento, comprendida entre los 4 y 8 meses de edad del cultivo y dependiendo de las textura de los suelos en los diferentes lotes de la Finca.

## **CONCLUSIONES**

De acuerdo a la identificación de la condiciones edafoclimáticas de la finca se pudo evidenciar que efectivamente en la zona de estudio son muy escasos los eventos de precipitación que hacen que el requerimiento de riego por parte del cultivo y condiciones físicas del suelo sea muy exigente.

La caracterización del procedimiento técnico informativo contribuyó a la precisión con la que se calculó el balance hídrico, ya que este depende de la exactitud con que se determinen las constantes de humedad del suelo y los valores de evapotranspiración actual, además del buen juicio para realizar los ajustes requeridos por la metodología.

Determinar las frecuencias de riego ayudó a asignar los recursos hídricos necesarios para compensar los déficits de precipitación, visualizando la necesidad de infraestructura para la evacuación de excesos de humedad, definidos por el balance entre la precipitación y la evapotranspiración integrando parámetros como el clima, el suelo y la planta que permitieron generar una propuesta de riego.

La implementación del balance hídrico permite conocer de manera aproximada la humedad disponible para cada lote, permitiendo establecer prioridades para la aplicación del riego que se ve limitado por la escasez de personal y disponibilidad del recurso hídrico.

Contribuir al incremento de la productividad del cultivo de la caña de azúcar a través de la implementación y adopción de estrategias tecnológicas encaminadas a hacer uso eficiente del recurso hídrico, como el balance hídrico V 4.0 representa un beneficio económico y ambiental para el sector agroindustrial de la caña de azúcar.

## **RECOMENDACIONES**

Es necesario realizar validaciones de las programaciones de riegos que muestra el balance hídrico con el objetivo de comparar la similitud en los días próximos para regar entre el software y lo que se observa en campo.

El balance hídrico se puede iniciar después de un riego o de varias lluvias que lleven el suelo hasta capacidad de campo. En este caso el 'capital base' para iniciar la contabilidad es la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA), lo cual significa que la lámina de agua del suelo (LAS) es igual a la LARA

La implementación de este método de balance hídrico presenta una mejor adaptabilidad en zonas donde NO existen aportes de humedad por nivel freático, ya que estos aportes transmiten humedad a través de capilaridad haciendo que el cultivo tenga un suministro de agua en periodos de sequia.

Es importante crear una adecuada red de pluviometría acorde con el área y la distribución de los lotes en la finca, con el objetivo de disminuir efectos originados por la variabilidad espacial que presentan las precipitaciones.

## ANEXOS

**Anexo 1. Validación del balance hídrico:** la validación del balance hídrico se hace a través de unos cateos de humedad que permiten observar la disponibilidad de humedad en el suelo de forma subjetiva. Esta validación permite comparar las necesidades de riego en campo vs el software y tomar decisiones de cuando es pertinente regar o no.



*Ilustración 14. Cateo de humedad con barreno de media caña holandés*



*Ilustración 15. Técnica de humedad al Tacto*

**Anexo 2. Como medir lluvia en un pluviómetro:** Todo pluviómetro debe ser calculado de acuerdo a la superficie de abertura que capta la lluvia. Ésta, para ser precisa, no debe tener menos de 100 cm<sup>2</sup> de superficie. Este es el patrón adoptado en las estaciones meteorológicas oficiales de todo el mundo. Además de eso, el borde de la boca debe ser afilado para que corte la gota, y así determine la superficie de manera exacta, evitando que salpicaduras modifiquen la medición correcta.

Para saber la cantidad de lluvia por cm<sup>2</sup>, se divide 1000 milímetros (1L) por 10000 cm<sup>2</sup> (1m<sup>2</sup>). Eso nos da el resultado de 0.1 ml (cm<sup>3</sup>) que es la unidad por la cual se multiplica por los cm<sup>2</sup> de la superficie de abertura de cualquier pluviómetro.

**Calculo de la superficie de abertura del pluviómetro:** como la abertura de los pluviómetros es un círculo, para determinar su superficie la formula usada es

Ejemplo: El diámetro de abertura es de 11.35 cm, luego el radio (r) es de 5.675 cm. Así

$$\text{Radio} * \text{radio} = 32.2 * \pi$$

$$5.675 * 5.675 * 3.14 = 101 \text{ cm}^2 \text{ de superficie de boca}$$

**Calculo de volumen de pluviómetro:** Al multiplicar 01 \* 101 cm<sup>2</sup> obtenemos 10.1 ml o cm<sup>3</sup>

Este valor obtenido de 10 ml o cm<sup>3</sup> = 1 mm de lluvia caída

Multiplicado por 10 seria 100 ml o cm<sup>3</sup> = 10 mm de lluvia caída

Multiplicado por 20 sería 200 ml o  $\text{cm}^3 = 20 \text{ mm}$  de lluvia caída y así sucesivamente.

En cuanto a la superficie de recepción, a mayor superficie más exactitud, y por supuesto lo contrario, lo que se deduce fácilmente de una de las formulas expuesta antes. Es necesario evitar el uso de pluviómetros artesanales, ya que el área de recepción no es igual a la de los pluviómetros reglamentarios como el Fercon o el Hellmann. Cualquiera que sea el diámetro del área de captación elegida, la graduación del recipiente de medición debe estar en relación con éste, es por esto que el recipiente de medición es un accesorio que viene con el pluviómetro, y esto garantizara que los datos sean confiables y acordes con lo que verdaderamente se está presentando en campo.



*Ilustración 16. Pluviómetro Artesanal*



*Pluviómetro Fercon*



*Pluviómetro Hellmann*

**Anexo 3. Tabla de referencia de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)**  
**de 179 suelos representativos del valle del río Cauca (213,675 ha). Septiembre 2013.**  
**(Cenicaña, 2015)**

Símbolo	Nombre	Subgrupo	LARA (mm)	
			2-4 meses (0.6 m)	4-10 meses (0.80 m)
AF	Alto Miraflores	Udic Haplustolls	29	55
AG	Aranjuez	Entic Endoaquerts	57	82
AL	Alfaguara	Udic Haplustepts	51	64
AM	Amaime	Typic Ustifluvents	48	74
AR	Argelia	Vertic Argiustolls	50	60
AS	Asombro	Udertic Haplustalfs	50	74
AY	Arroyo	Udertic Haplustolls	49	76
BA	Basuro	Aeric Endoaquepts	58	74
BB	Brisas	Aquic Haplustepts	58	83
BC	Baltica	Aquic Argiustolls	48	58
BH	Bahía	Fluventic Eutrudepts	52	78
BL	Ballesteros	Typic Endoaquerts	58	72
BR	Britania	Typic Haplustolls	53	72
BT	Balta	Aquertic Haplustolls	50	83
BU	Burriá	Typic Endoaquerts	56	78
CA	Catorce	Aeric Endoaquerts	52	81
CB	Ceibal	Udertic Haplustalfs	50	74
CC	Cachimbalito	Fluventic Hapludolls	59	78
CD	Chontaduro	Typic Haplustolls	55	72

CE	Cerrito	Entic Haplustolls	36	48
CH	Chundular	Entic Haplustolls	43	56
CI	Cali	Cumulic Haplustolls	41	61
CK	Coke	Fluventic Haplustepts	45	65
CL	Canelo	Fluvaquentic Endoaquepts	60	80
CM	Chamburo	Fluvaquentic Haplustolls	52	77
CN	Cantarina	Pachic Vertic Haplustolls	58	80
CO	Corozo	Fluventic Eutrudepts	62	81
CT	Corintias	Typic Haplusterts	55	79
CU	Cuprecia	Aquic Hapluderts	51	91
DD	Diana	Typic Argiustolls	39	47
DL	Delicias	Udic Haplustepts	57	75
DP	Delpalo	Udifluventic Haplustepts	51	67
DS	Desbaratado	Aquertic Haplustolls	50	86
EB	El Blancal	Udic Haplustolls	51	81
EE	Esperanza	Fluventic Haplustolls	49	72
EG	Egipto	Chromic Vertic Endoaqualfs	65	78
EL	Escalita	Fluventic Haplustolls	52	79
EM	Esmeralda	Cumulic Haplustolls	55	69
EO	El Alto	(Ultic) HapludalFs	32	41
ES	Esveda	Typic Haplusterts	50	70
EZ	Escocia	Fluvaquentic Haplustolls	58	79
FF	Río Fraile	Fluvaquentic Endoaquolls	43	67
FL	Florida	Entic Haplustolls	37	50



FO	La Floresta	Vertic Endoaquepts	69	90
FP	Felipeto	Aquic Argiudolls	61	81
FR	Franciscano	Aquic Haplustolls	49	64
GA	Guachené	Humic Dystrudepts	55	77
GB	Guabito	Aquic Haplustepts	56	64
GD	Guadual	Fluvaquentic Haplustolls	51	71
GH	Guachal	Pachic Haplustolls	52	72
GI	Guacarí	Fluventic Haplustolls	52	74
GL	Galpón	Typic Calciusterts	54	71
GN	Génova	Entic Haplustolls	30	38
GO	Guabal	Vertic Haplustepts	50	60
GR	Granadita	Ustic Haplohumults	43	52
GU	Guadualito	Fluvaquentic Haplustolls	55	75
GV	Genovés	Pachic Haplustolls	46	66
GY	Guayabo	Fluventic Eutrudepts	69	84
HC	Ciénaga Honda	Fluvaquentic Endoaquepts	54	71
HE	Hacienda el Rhin	Fluventic Endoaquepts	58	82
HR	Hormiguero	Udifluventic Haplustepts	48	67
HV	Hacienda Villas	Aquertic Eutrudepts	63	76
IE	Inés	(Udic) Pachic Haplustolls	65	89
IG	Ingenio	Aquic Haplustepts	57	76
IN	India	Udic Haplustepts	55	70
IS	Isabela	Aquertic Haplustolls	58	75
IT	Italia	Typic Argiustolls	48	67

JA	Jamaica	Fluventic Haplustepts	64	85
JE	Jerusalén	Entic Udic Haplusterts	55	61
JG	Japiogrande	Fluventic Eutrudepts	67	86
JJ	Japiodos	Fluvaquentic Endoaquepts	55	82
JN	Juanchito	Vertic Endoaquepts	54	67
JO	Joya	Fluventic Haplustepts	55	74
JP	Josepilla	Fluventic Haplustepts	53	76
JR	Jordán	Typic Haplustolls	49	88
JU	Jamundí	Chromic Epiaquerts	64	91
KA	Cañas	Fluventic Eutrudepts	55	72
KB	Cabal	Aeric Fluvaquents	54	69
KC	Caloto	Typic Palehumults	52	75
KG	Cartaguito	Vertic Haplustalfs	50	60
KJ	Cascajal	Aeric Endoaquepts	49	87
KK	Cachimbo	Udic Ustifluvents	43	63
KL	Calamar	Vertic Argiustolls	42	65
KM	Cámbulos	Udertic Haplustolls	59	78
KN	Canaima	Typic Hapluderts	69	79
KP	Campiña	Fluventic Eutrudepts	60	80
KS	Castillo	Udertic Haplustepts	52	71
KT	Corinto	(Udic) Humic Dystrustepts	56	79
KZ	Corozal	Fluvaquentic Endoaquepts	48	77
LA	Limar	Fluventic Haplustepts	42	61
LC	La Cabaña	Typic Calciustolls	53	70
LG	Laguneta	Vertic Endoaquolls	46	72

LH	La Habana	Udic Haplustepts	56	75
LI	Lisboa	Cromic Haplusterts	59	66
LL	La Luisa	Sodic Endoaquerts	65	75
LM	Loma	Vertic HapludalFs	45	70
LO	Lomitas	Fluvaquentic Endoaquepts	48	62
LR	La Flor	Typic Endoaquepts	54	82
LS	La Selva	Vertic Haplustolls	49	75
MA	Margarita	Vertic Haplustepts	56	78
MC	Margarita Cruz	Typic Ustipsamments	17	23
MF	Miraflores	(Ustic) Palehumults	51	61
MI	Micoarmel	Udifluventic Haplustepts	51	72
MJ	Machín	Fluventic Dystrudepts	55	73
MK	Mónaco	Typic Endoaquepts	57	85
ML	Manolo	Udifluventic Haplustolls	47	63
MN	Manuelita	Fluventic Haplustolls	55	75
MO	Morgan	Fluventic Haplustolls	45	58
MS	Marsella	Typic Haplustepts	48	73
NA	Nariño	Typic Haplustolls	56	70
NI	Nilo	Aquertic HapludalFs	46	54
NJ	Naranjos	Inceptic HaplustalFs	49	68
NM	Nima	Entic Haplustolls	45	60
NP	Nuevo Pichichí	Typic Haplusterts	41	62
OR	Oriente	Pachic Haplustolls	45	64
OV	Ovejera	Fluvaquentic Haplustolls	40	68
PA	Palmiche	Pachic Haplustolls	54	72

PB	Porce Blum	Fluventic Haplustolls	50	75
PC	Pichichí	Vertic Argiustolls	41	62
PH	Pasoancho	Pachic Haplustolls	39	51
PI	Piedras	Chromic Haplusterts	51	71
PK	Potoco	Typic Fluvaquents	76	109
PL	Palmira	Pachic Haplustolls	50	70
PM	Palmeras	Vertic Haplustolls	53	76
PN	Pindo	Vertic Argiustolls	58	80
PO	Potrerrillo	Chromic Hapluderts	52	80
PP	Palmas	Fluventic Haplustolls	35	40
PR	Párraga	Fluventic Haplustolls	58	69
PT	Palmirita	Cumulic Haplustolls	50	70
PW	Puente Esclavos	(Udic) Humic Dystrustepts	53	82
PX	Palmito	(Udic) Pachic Haplustolls	61	72
QM	Quinamayó	Fluvaquentic Eutrudepts	49	80
RA	Rafaela	Fluvaquentic Endoaquolls	61	85
RD	Arrendo	Fluvaquentic Eutrudepts	55	72
RE	Real	Aquic Haplustepts	45	61
RF	Refugio	Entic Haplusterts	57	76
RI	Retiro	Petrocalcic Haplusterts	65	81
RJ	Río de Janeiro	Chromic Endoaquerts	50	66
RL	Río Paila	Fluventic Haplustolls	50	73
RP	Rancho Pato	Chromic Hapluderts	57	82
RR	Rita	Pachic Argiustolls	56	72
RS	Río Teta	Aquic Eutrudepts	52	74

RT	Ricaurte	Vertic Haplustolls	50	75
SA	Samán	Fluventic Haplustepts	47	87
SC	San Camilo	Typic Haplusterts	47	70
SE	Santa Elena	Entic Haplustolls	55	78
SG	San Jorge	Aquic Eutrudepts	54	71
SH	Santa Rosa	Entic Haplusterts	56	75
SK	Sinaí	Udic Haplustolls	56	86
SL	Sillero	Typic HapludalFs	65	90
SM	San Marcos	Fluventic Haplustepts	40	61
SN	San Nicolás	Oxic Dystrudepts	58	79
SP	San Pablo	Typic Calciusterts	47	63
SR	San Rafael	Entic Haplusterts	48	64
SS	San Lorenzo	Fluventic Haplustolls	55	85
ST	Santa Rita	Cumulic Haplustolls	45	67
SU	La Suiza	Vertic Endoaquolls	53	72
TB	Tibet	Chromic Endoaquerts	59	79
TE	Tesoro	Entic Haplustolls	44	64
TF	Tiftón	Vertic Eutrudepts	50	66
TI	Trinidad	Aquic Haplustepts	36	43
TL	Taula	Udic Haplusterts	69	94
TM	Timba	(Anthraquic) Dystrudepts	54	73
TR	Troja	Udic Haplustolls	51	74
TT	Tortugas	Aquertic HapludalFs	52	84
TU	Tupia	Fluventic Haplustepts	44	73
VB	Viterbo	Aquic Hapludolls	50	78

VC	Victoria	Udertic Haplustepts	54	69
VG	Vega	Typic Ustifluvents	48	83
VH	Vista Hermosa	Aeric Endoaquerts	67	85
VI	Villa	Typic Haplustepts	51	70
VM	Villa Linda	Typic Hapludolls	60	86
VP	Villa Paz	Typic Udifluvents	58	80
VS	Villa Stella	Typic Dystrudepts	54	73
YM	Yumbo	Vertic Haplustepts	45	60
ZC	Zanjón Cochinito	Vertic Endoaquepts	61	84
ZJ	Zanjón Rosario	Vertic Endoaqualfs	55	84
ZP	Zanjón de Piedra	Fluvaquentic Endoaquolls	59	79
ZR	Zanjón Rozo	Fluvaquentic Endoaquepts	62	83

---

*Tabla 7. Tabla de referencia de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)*

## **BIBLIOGRAFÍA**

Alarcón M., S.L. y Cruz V., J.R. 2012. Precipitación efectiva en el cultivo de la caña de azúcar para programar riegos mediante balance hídrico. Vol. 1 p. 557-567. En: Congreso de la Asociación Azucareros de Latinoamérica y el Caribe, 8, y Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, 9. Memorias. Cali, Colombia. Septiembre 12-14, 2012. Tecnicaña, Cali, Colombia. [Disponible en [www.cenicana.org/biblioteca/catalogo\\_enlinea.php](http://www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_enlinea.php)].

Cenicaña 2008. Grupos homogéneos de suelos del área dedicada al cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca (segunda aproximación). (Serie técnica No. 37).

Cenicaña 2013. Zonificación agroecológica (cuarta aproximación)

Cruz V., J.R 2014 Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos en caña de azúcar Guía metodológica.

Cruz V., J.R.; Torres A., J.S.; Besosa T., R.; Gómez, J.; Pantoja, J.E. 2009. Función de K para mejorar la precisión en la programación de los riegos. p. 289-297. Disponible en [www.cenicana.org/biblioteca/catalogo\\_enlinea.php](http://www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_enlinea.php).

Cruz V., J.R.; Torres A., J.S.; Villegas, F. 2003. Iniciación e interpretación del balance hídrico.

Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (S.F.). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>.

S.A. CAPITULO 2: PRECIPITACIÓN. Recuperado de [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_136\\_147\\_89\\_1257.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_136_147_89_1257.pdf).

Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 6(2), 47 - 56. doi:  
<https://doi.org/10.22490/21456453.1404>.

Torres A., J.S.; Cruz V., J.R.; Villegas T., F. 2004. Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar. (Serie técnica N.º 33) Disponible en [www.cenicana.org/biblioteca/catalogo\\_enlinea.php](http://www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_enlinea.php)

Zanclemente Reyes, O., Ararát Orozco, M., & De la cruz Cardona, C. (2015). Contribución de *Vigna unguiculata* L. a la sustentabilidad de sistemas de cultivo de caña de azúcar.